

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя

Кафедра інжинірингу
машинобудівних технологій

ЛІТЕРАТУРА



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичної роботи № 1

на тему:

“ТОПОЛОГІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ В СЕРЕДОВИЩІ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ SOLID EDGE ST10”

з дисципліни

“Генеративний дизайн та оптимізація
у виробничих технологіях”

Тернопіль, 2021

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Кафедра інжинірингу
машинобудівних технологій

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичної роботи № 1

на тему:

**“ТОПОЛОГІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ МАШИНОБУДІВНИХ
КОНСТРУКЦІЙ В СЕРЕДОВИЩІ ПРОГРАМНОГО
ПРОДУКТУ SOLID EDGE ST10”**

з дисципліни

“Генеративний дизайн та оптимізація у виробничих технологіях”

для практичних занять та самостійної роботи студентів,
а також дистанційного навчання

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»
та блоку вибіркових дисциплін інших спеціальностей

Тернопіль, 2021

Методичні вказівки розроблені відповідно до освітньо-професійної програми підготовки здобувачів вищої освіти освітнього рівня магістр за спеціальністю 131 «Прикладна механіка».

Укладачі:

д.т.н., проф. Васильків В.В.
к.т.н., доц. Радик Д.Л.
асист. Сіправська М.Д.

Рецензент:

к.т.н., доц. Шанайда В.В.

Відповідальний за випуск

асист. Сіправська М.Д.

Методичні вказівки розглянуті та схвалені на методичному семінарі кафедри інжинірингу машинобудівних технологій.
Протокол № 6 від 19.02.2021.

Методичні вказівки рекомендовано до друку методичною комісією ФМТ.
Протокол № 5 від 24.02.2021.

1 МЕТА РОБОТИ

Ознайомлення з основними поняттями, термінами і методами топологічної оптимізації, набуття практичних навичок генеративного дизайну деталі в середовищі програмного продукту SOLID EDGE ST10.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

2.1 Поняття топологічної оптимізації

Топологічна оптимізація (ТО) – це математичний метод, який оптимізує компоновку матеріалів в заданому просторі проектування для заданого набору навантажень, граничних умов і обмежень з метою максимізації продуктивності системи. ТО відрізняється від оптимізації форми і оптимізації розмірів тим, що дизайн може досягати будь-якої форми в просторі, замість того, щоб мати зумовлені конфігурації.

Тобто процес топологічної оптимізації – це пошук оптимальної форми деталі при заданих умовах закріплення і навантаження. Підкреслимо, що оптимальною в даному випадку вважається форма, що забезпечує найменшу вагу.

Цей вид генеративного дизайну реалізований в Solid Edge ST10, Altair Inspire, Ansys Mechanical.

Зазвичай оцінювання ефективності проектування з використанням ТО здійснюється методом кінцевих елементів. Тобто, конструкція оптимізується з використанням методів математичного програмування на основі градієнта, таких як алгоритми критеріїв оптимальності і методи переміщення асимптот або використання алгоритмів на основі неградієнта, таких як генетичні алгоритми.

Комп'ютерна оптимізація топології дає дивовижні і абсолютно незвичайні варіанти геометрії. Вона дозволяє знизити вагу виробів без погіршення характеристик міцності, оптимізувати витрати матеріалу, відповідно знижуючи вартість виробу. Однак при всьому цьому відразу ж виникає питання про технологічність продукту та технології його виготовлення.

Маючи оптимізовану модель можна переконатися в непридатності традиційних способів обробки металів різанням і

тиском. Єдине, на що можна розраховувати, – це лиття та адитивні технології.

Компанія Siemens PLM Software створила систему автоматизованого проектування (САПР) – Solid Edge ST10. Це перша САПР, що дає можливість в повній мірі використовувати переваги генеративного дизайну і адитивних технологій.

В Solid Edge ST10 при запуску генеративного проектування конструктор вказує область, в межах якої буде формуватися деталь. Для цього задається її приблизна форма. На ній фіксується розташування елементів кріплення; вказуються області, які не повинні змінюватися, а також робочі навантаження. Далі у діалоговому вікні конструктор задає відсоток зниження маси, коефіцієнт запасу по міцності.

У цьому ж вікні задається ще один важливий параметр генеративного моделювання – час роботи програми. Від цього залежить точність одержуваної моделі, адже це обмежує кількість ітерацій.

Рішення, отримане в результаті топологічної оптимізації (рис. 1), можна відразу ж відправити на 3D-друк, але функціонал Solid Edge ST10 цим не обмежується. У десятій версії вперше застосовані технологія об'єднаного моделювання (Convergent Modeling) BREP і фасетне уявлення, які об'єднуються в одній моделі, що дає можливість редагувати продукт генеративного дизайну.

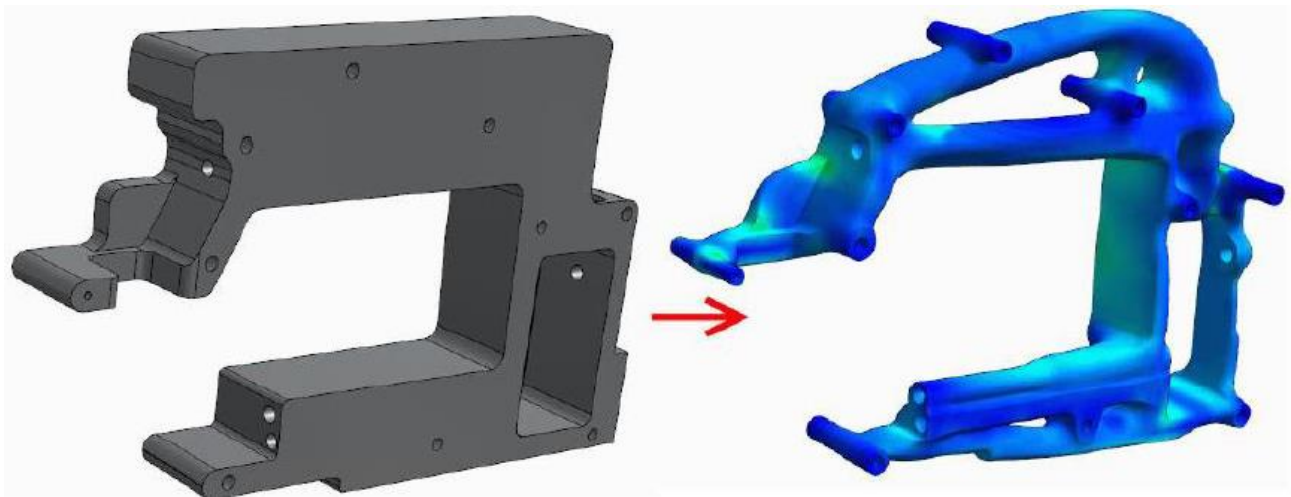


Рисунок 1 – Результат генеративного дизайну
реалізований в Solid Edge ST10:

а) початкова модель; б) результат генеративного дизайну.

По завершенні процесу оптимізації робота над деталлю може бути продовжена. Ніяких дій, пов'язаних з «проблемним» представленням сітки в точне уявлення, не потрібно. Конструктор може додавати і прибирати елементи; можуть виконуватися булеві операції; якщо йде робота над складанням, то можливе віднімання тіла однієї деталі з іншого і т.д. Сіткове облаштування при цьому постійно оновлюється.

2.2 Початкова інформація для дизайну

Об'єктом топологічної оптимізації є деталі, щодо яких існує необхідність у зменшенні маси при збереженні їх експлуатаційних властивостей.

Як приклад розглянемо деталь «Коромисло» (рис. 2), яка виготовлена зі сталі 40Х ДСТУ 7806:2015 та має масу 102 г. Вона є відповідальним елементом функціонування поворотного механізму. Зрозумілим є те, що існуюче конструктивне рішення орієнтоване для виготовлення деталі «Коромисло» традиційними методами виробництва на універсальному обладнанні.

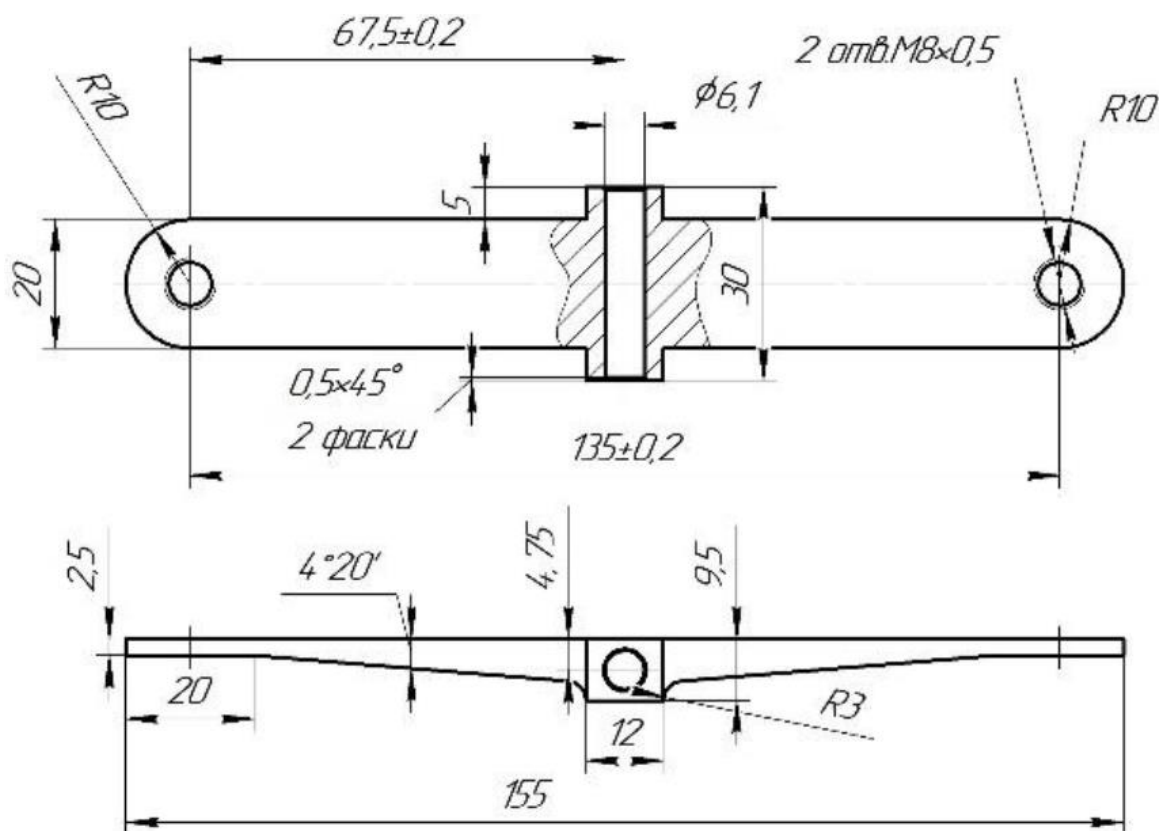


Рисунок 2 – Ескіз деталі «Коромисло»

Відповідно до конструкторських даних, в процесі експлуатації поворотного механізму передбачається силове навантаження на зони бокових отворів даної деталі в межах до 500 Н.

Основні механічні властивості сталі 40Х є такими

$$\sigma_b = 780,33 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{nc} = 414 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{тек} = 381 \text{ МПа};$$

$$E = 210366,6667 \text{ МПа};$$

$$\psi = 67,62 \%;$$

$$\delta = 18 \%;$$

2.3 Комп'ютерне моделювання деталі з початковою геометрією та топологічна оптимізація в середовищі Solid Edge ST10

На першому етапі здійснюють побудову твердотільної 3D моделі деталі в будь якій системі автоматизованого проектування з можливістю збереження її у форматі STP. Адже, формат STP (STEP формат) є універсальним форматом представлення даних (тривимірні моделі, креслення, специфікації) в системах автоматизованого проектування (CAD-систем).

Всі STEP моделі, які генеруються в CAD системі, виконані відповідно до вимог стандартів ISO 10303.

Також тривимірну модель деталі можна створити безпосередньо в програмному середовищі Solid ST 10.

Як критерій оптимізації задаємо зменшення маси деталі «Коромисло» на 50 % з урахуванням початкової геометрії (рис. 3), навантажень і обмежень, заданих для аналізу.

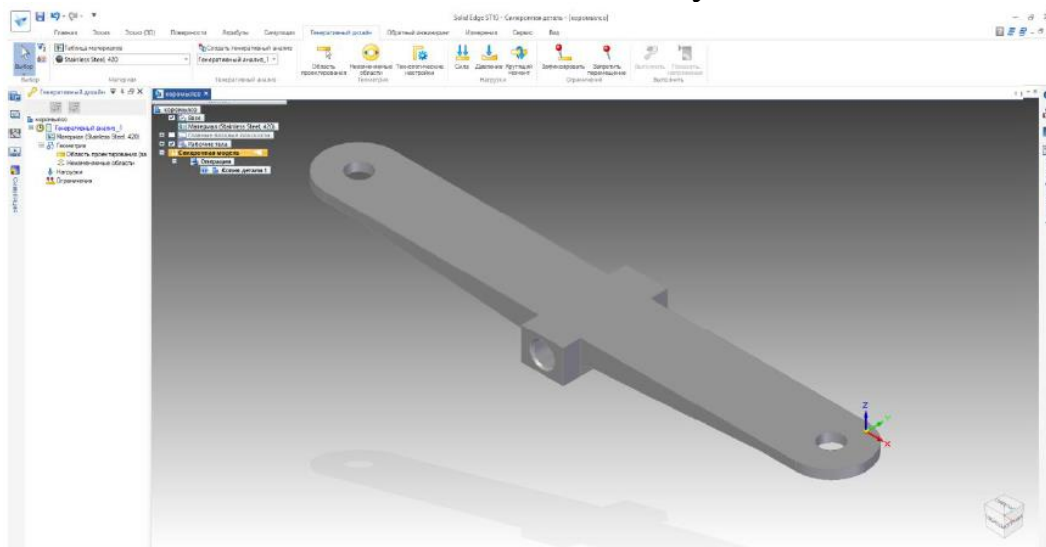



Рисунок 3 – Інтерфейс Solid Edge ST10 і 3D модель деталі

Щоб задати матеріал деталі, вибираємо вкладку **Генеративний дизайн** → група **Матеріал** → команда **Матеріал**. Як матеріал для деталі «Коромисло» згідно початкових даних використовуємо сталь 40Х ДСТУ 7806:2015.

Для початку генеративного дизайну з метою оптимізації маси моделі вибираємо вкладку **Генеративний дизайн** → група **Генеративний аналіз** → команда **Створити генеративний аналіз** .

Ця команда дозволяє застосувати різні способи оптимізації для однієї і тієї ж моделі.

Якщо є кілька тіл, то доцільно використати команду **Область проектування**, щоб задати потрібне тіло для оптимізації. У нашому випадку є тільки одне тіло.

Далі використовуємо команду **Незмінні області** для завдання зон деталі, які не потрібно оптимізувати. На рис. 4 такі зони зображені зеленим кольором. Вказуємо значення зміщення для грані або іншого конструктивного елемента, що задає глибину області, яка залишиться незмінною. У цьому прикладі зміщення дорівнює 1 мм.



Рисунок 4 – Зображення зон деталі «Коромисло», які не підлягають оптимізації

Для видалення внутрішніх порожнин і виключення провисання можна використовувати команду **Технологічні параметри**. У нашому випадку у заданні цих налаштувань немає необхідності, оскільки ми зменшуємо вагу і можемо не видаляти внутрішні порожнини.

Силіві навантаження можна застосувати у вигляді **Сили**, **Тиску** або **Крутного моменту**. Виходячи з умов експлуатації деталі силу в 500 Н прикладаємо на поверхню деталі кріплення, як це показано на рис. 5.

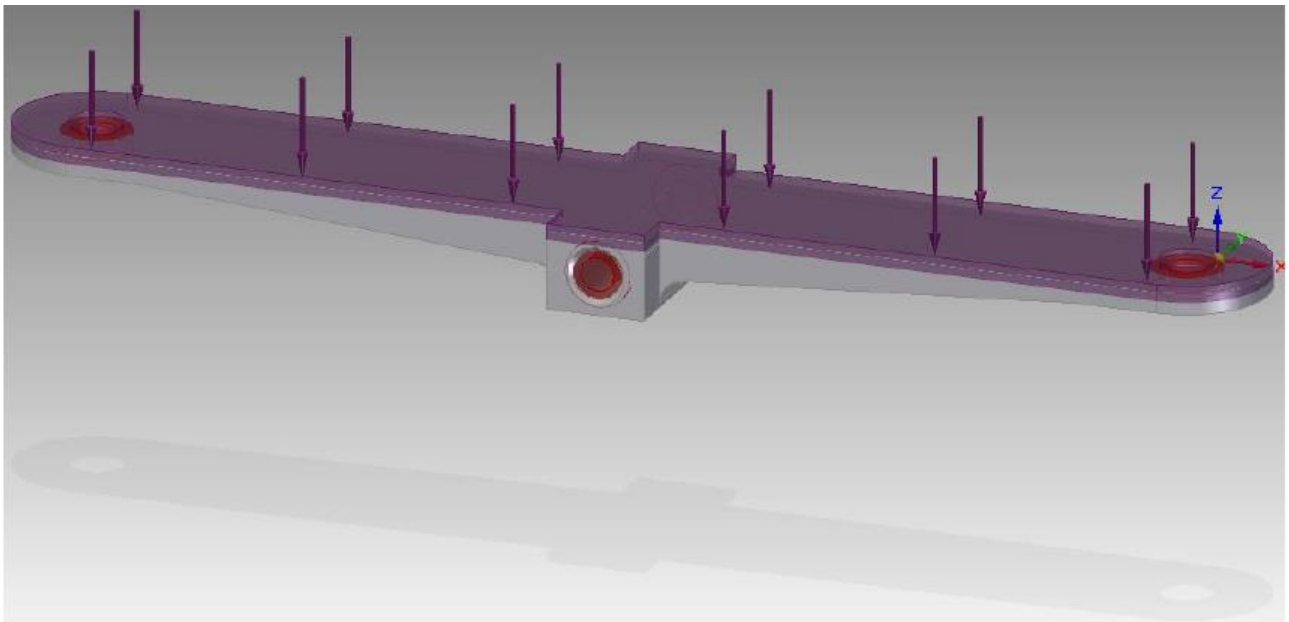


Рисунок 5 – Схема силового навантаження на деталь

Грані або інші конструктивні елементи деталі, які не повинні переміщатися в просторі, фіксуємо за допомогою команд **Зафіксувати** або **Заборонити переміщення**, вони виділені зеленим кольором на рис. 6.

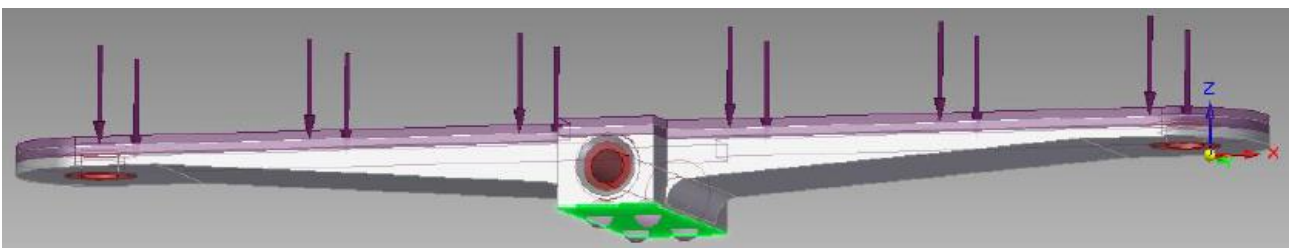
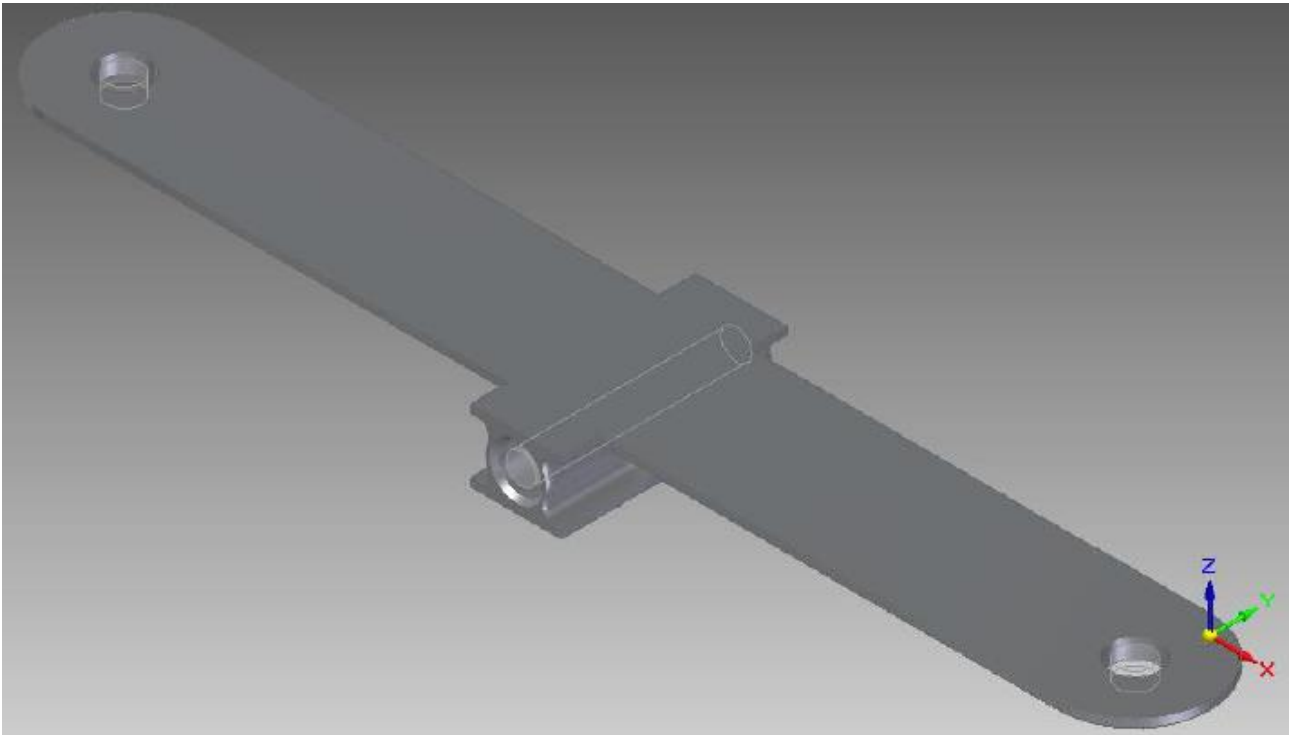


Рисунок 6 – Фіксовані в просторі зони деталі «Коромисло»

Наступним етапом є створення нової геометрії деталі відповідно до заданих умов за допомогою команди **Виконати**. Для параметра «Якість аналізу» задаємо значення 5 в діапазоні 1-300, де 300 – найвища якість. Для параметра "Зменшення маси" задаємо значення 50 %. Для параметра "Запас міцності" задаємо значення 1.000. Значення допустимого напруження не повинно перевищувати границі текучості матеріалу Сталь 40Х згідно ДСТУ 7806:2015.

У результаті цього отримано нову геометрію деталі, яка представлена на рис. 7, а та рис. 7, б, а також значення, які можуть використовуються для подальшого аналізу. За допомогою команди **Показати напруження** можна отримати зображення розподілу напружень в матеріалі деталі, котру досліджують.



а)



б)

Рисунок 7 – Результат генеративного дизайну деталі «Коромисло»:
а – ізометричний вид; *б* – вид збоку

Отримана модель підлягає силовому аналізу для визначення граничного напруження, яке не повинно перевищувати значення границі пропорційності (414 МПа) для даного матеріалу та не перевищувати границю міцності (780,33 МПа). Це доцільно здійснювати у програмному середовищі ANSYS чи іншому програмному продукті.

У випадку невідповідності необхідно провести перерахунок.

Наприклад, при зміні параметрів команд **Незмінні області**, **Силове навантаження**, **Зафіксувати** або **Заборонити переміщення** можливо отримати інші варіації результату генеративного дизайну (рис. 8).

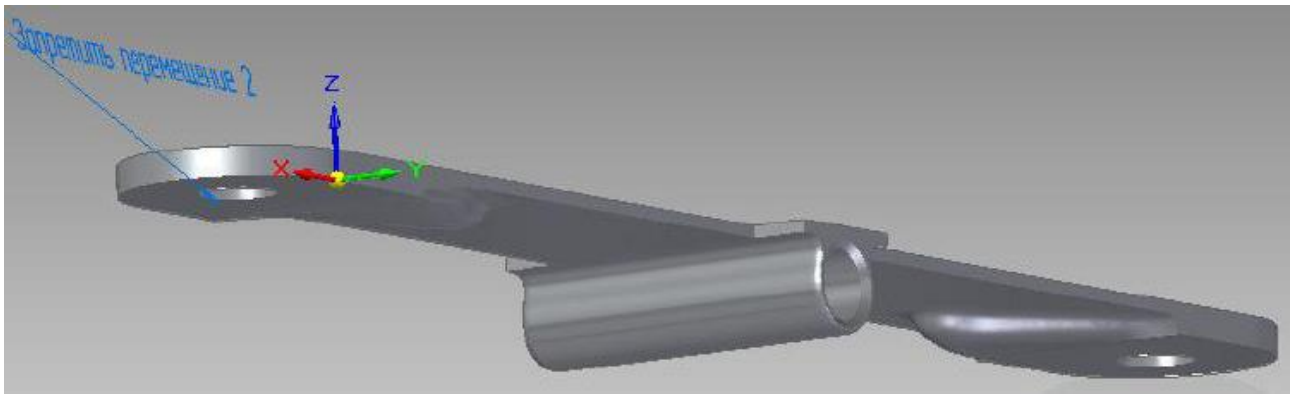


Рисунок 8 – Результат генеративного дизайну

З метою покращення результатів використовуємо нові параметри аналізу навантажень і обмежень для розрахунку оптимальної маси обраної моделі.

Змінюємо параметри **Силowe навантаження** (рис. 9), **Зафіксувати або Заборонити переміщення** (рис. 10) та задаємо нові параметри для команди **Виконати**. Для параметра "Якість аналізу" задаємо значення 25 в діапазоні 1-300, де 300 – найвища якість. Для параметра "Зменшення маси" задаємо значення 50 %. Для параметра "Запас міцності" задаємо значення 1.200.

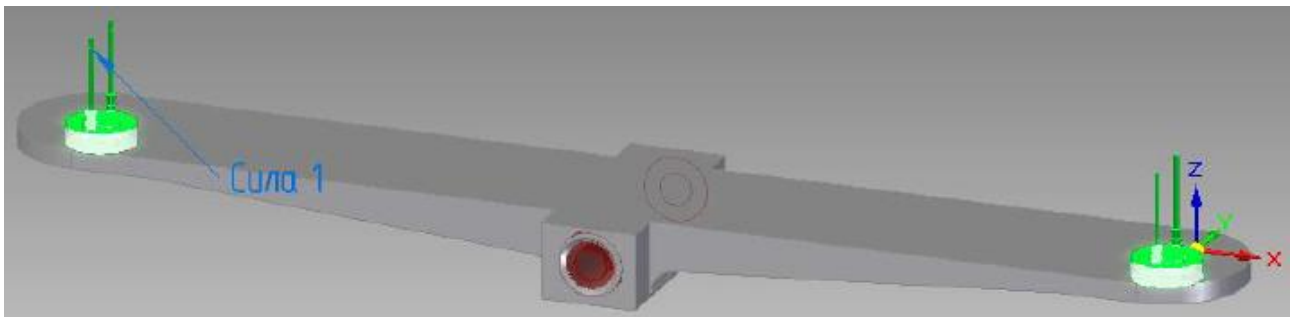


Рисунок 9 – Схема силового навантаження

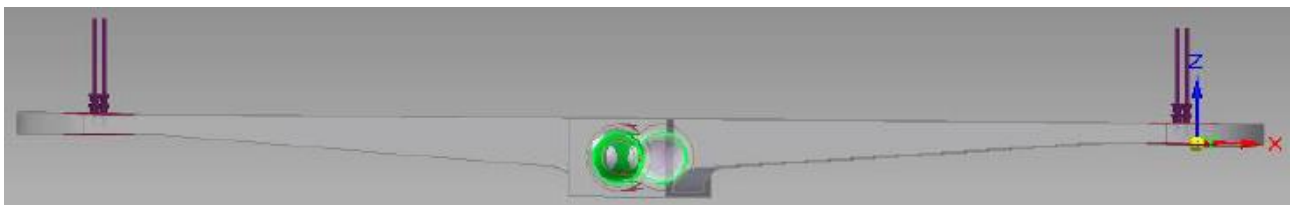


Рисунок 10 – Фіксовані в просторі зони деталі «Коромисло»

Отримане зображення деталі представлено на рис. 11.

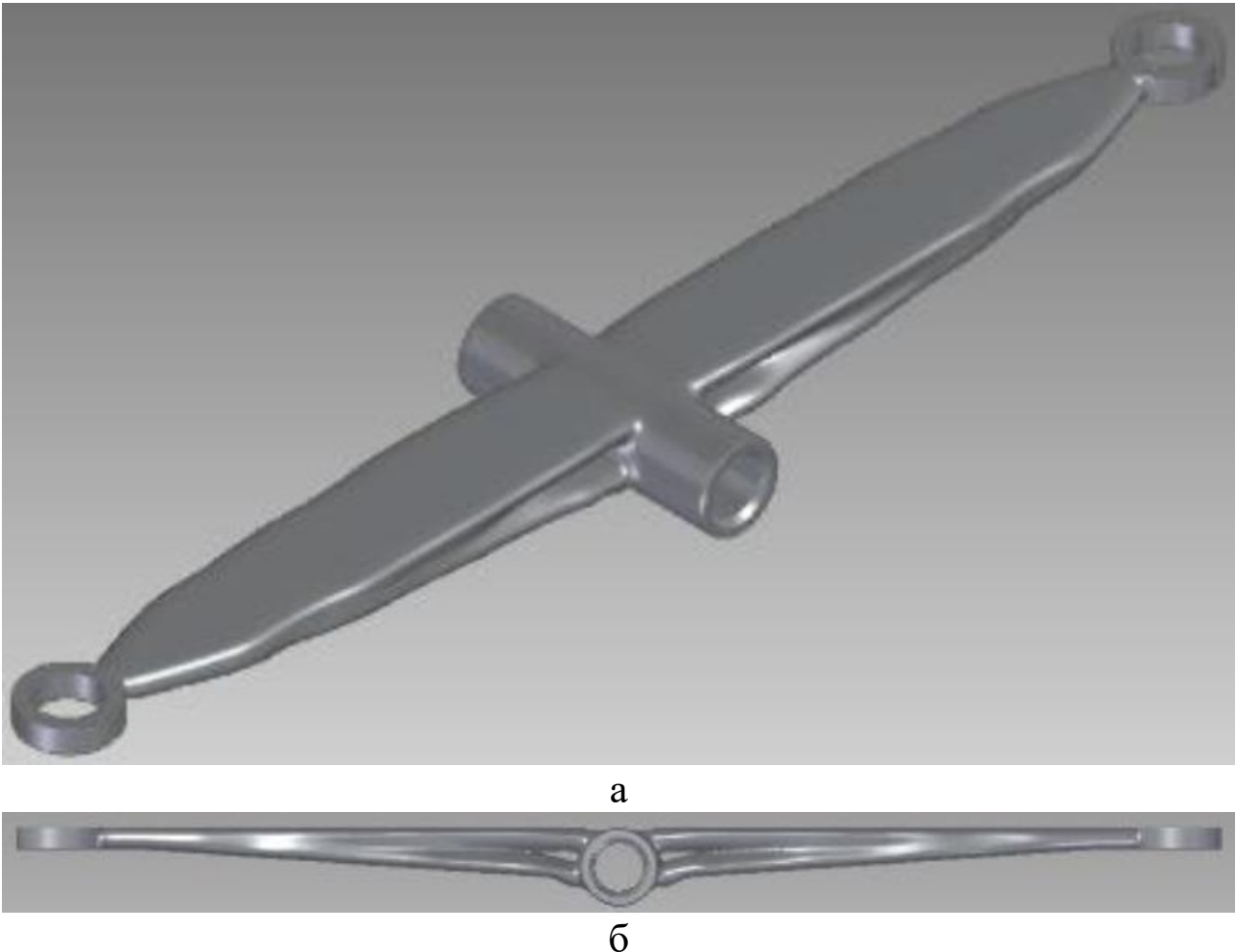


Рисунок 11 – Результат генеративного дизайну:
а – ізометричний вид, *б* – вид збоку

Таким чином, отримано модель деталі (рис. 11), яка має масу 50 г, що приблизно на 50 % менше від початкової маси деталі при збереженні її функціональної здатності.

3 СТРУКТУРА ЗВІТУ

В звіті до практичної роботи необхідно:

1. Зробити висновки про шляхи та можливості використання технологій генеративного дизайну.
2. Здійснити генеративний дизайн конструкції виробу, креслення якого задано викладачем.

Практична робота має мати пошуковий, дослідницький характер і може не виконуватись за жорстким описом (сценарієм).

Завданням для практичної роботи можуть бути вихідні матеріали для виконання студентом курсового та дипломного проектування, замовлення стейкхолдерів та ін.

Отриманий файл із результатами генеративного дизайну необхідно надіслати у скриньку завдань дисципліни “Генеративний дизайн та оптимізація у виробничих технологіях”.

4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Визначення поняття топологічної оптимізації.
2. Що являє собою процес топологічної оптимізації.
3. Що забезпечую комп'ютерна оптимізація топології.
4. Програмні продукти, які можуть використовуватись для топологічної оптимізації.
5. Що необхідно вказати при запуску генеративного проектування в Solid Edge ST10
6. Алгоритм топологічної оптимізації.

5 ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ

1. Іванов Д.Є. Моделювання геометричної моделі деталі методами генеративного дизайну. Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра зі спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології виробництва приладів». НТУ УКРАЇНИ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, Київ – 2019 – 125 с.
2. Генеративный дизайн: программирование, как новый инструмент деятельности дизайнера [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015013127>
3. Метелик Т.С. Генеративный метод проектирования и способы его реализации в графическом дизайне // Бизнес и дизайн ревю : журнал. – 2017. – Т. 1, № 2(6). – С. 11.

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ	3
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	3
3 СТРУКТУРА ЗВІТУ	11
4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ	12
5 ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ	12